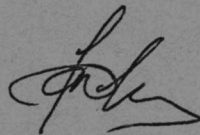


0-793379

На правах рукописи



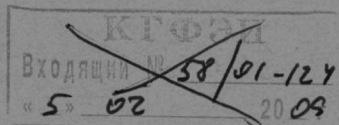
Долженко Алексей Иванович

**НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КАЧЕСТВА ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ: ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ
И ИНСТРУМЕНТАРИЙ**

Специальность 08.00.13 — Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора экономических наук

Ростов-на-Дону — 2008



Работа выполнена в ГОУВПО "Ростовский государственный экономический университет «РИНХ»"

Научный консультант — доктор экономических наук, профессор
Хубаев Георгий Николаевич

Официальные оппоненты — доктор экономических наук, профессор
Тельнов Юрий Филиппович

доктор экономических наук, доцент
Стрельцова Елена Дмитриевна

доктор технических наук, профессор
Карелин Владимир Петрович

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000665325

Ведущая организация — Южный Федеральный университет

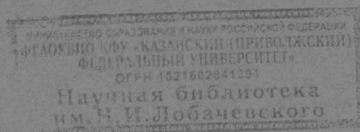
Защита диссертации состоится 2 марта 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.209.03 в Ростовском государственном экономическом университете «РИНХ» по адресу: 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 69, ауд. 302

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Ростовского государственного экономического университета «РИНХ».

Автореферат разослан 29 января 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

И. Ю. Шполянская



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. В настоящее время информационные системы (ИС) призваны обеспечить такой уровень поддержки бизнеса, который определяет его поступательное развитие и конкурентоспособность. Современный бизнес является высокодинамичным, а информационные системы, его поддерживающие, широко используют веб-технологии для автоматизации как внутренних, так и внешних бизнес-процессов. С учетом этого крайне актуальными становятся задачи обеспечения высокого потребительского качества информационных систем, базирующихся на веб-технологиях, как при их проектировании, так и при модернизации в ответ на изменяющиеся требования бизнеса. Под потребительским качеством мы понимаем совокупность свойств, которая обуславливает пригодность ИС удовлетворять потребностям пользователя¹.

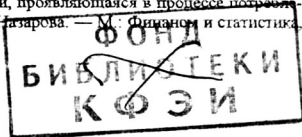
На протяжении всего жизненного цикла информационных систем, построенных с использованием веб-технологий, возникает ряд сложных проблем оценки и обеспечения заданного потребительского качества, которые не нашли достаточно полного отражения как в отечественных, так и в зарубежных разработках.

Известные подходы к обоснованию альтернатив в процессе принятия решений по выбору характеристик ИС используют, как правило, детерминированные или вероятностные модели. В то же время для проектов создания и внедрения информационных систем, в особенности с применением веб-технологий, характерна неопределенность, для которой закон распределения входных или выходных случайных величин неизвестен или нет полной уверенности по поводу его функциональной принадлежности или значений параметров. Проведенные автором исследования показали, что модели, учитывающие такой вид неопределенности, ранее не рассматривались применительно к процессу разработки информационных веб-систем.

Для менеджера информационных проектов потребительское качество ИС целесообразно оценивать обобщенным (интегрированным) критерием. Формирование интегрального количественного показателя потребительского качества ИС представляется достаточно сложной задачей как с точки зрения его формирования, так и с точки зрения интерпретации. Существующие подходы к оценке потребительского качества ИС, как правило, базируются на отдельных показателях, и отсутствуют научно обоснованные методологические и теоретические положения для интегральной оценки качества систем, учитывающей как количественные, так и качественные показатели.

Оценка характеристик производительности ИС, во многом определяющих потребительское качество систем, особенно на начальных этапах проектов создания и внедрения ИС, требует применения математических моделей. С уче-

¹ Потребительское качество — совокупность свойств продукции, проявляющаяся в процессе потребления [см.: Социально-экономическая статистика : слов. / под ред. М. Г. Назарова. — М.: Финансы и статистика, 1981. — С. 444, 449, 452].



том широкого применения в корпоративных информационных системах веб-технологий модели производительности ИС должны отображать современные архитектурные решения, обеспечивающие распределенную обработку информации для Интернет-систем. Известные модели оценки производительности ИС не в полной мере учитывают архитектурные особенности корпоративных ИС, построенных на базе веб-технологий.

Вопросы эффективного управления рисками обеспечения потребительского качества на различных этапах проектов создания ИС требуют более детальной проработки моделей рисков, учитывающих особенности современных итерационных подходов объектно-ориентированных технологий.

Показатели качества объектно-ориентированных программных систем не в полной мере отражают подходы к созданию программных систем на базе современных программных платформ (Microsoft.NET, J2EE). Вопросы анализа и мониторинга характеристик качества ИС требуют дальнейшего развития и обобщения с учетом широкого использования веб-технологий в корпоративных информационных системах.

Как отмечается в ряде работ², объектные технологии — это один из подходов, который обеспечивает гибкость и высокую производительность создаваемых программных систем. Возможности объектно-ориентированной технологии создания ИС определяют необходимость дальнейшего развития методологии архитектурного проектирования с использованием типовых моделей.

Вышеприведенные доводы обуславливают актуальность разработки методологии и инструментария построения комплексных моделей анализа потребительского качества ИС в условиях существенной неопределенности, учитывающих как количественные, так и качественные характеристики системы; развития методологии моделей оценки рисков потребительского качества в проектах создания и внедрения ИС; построения моделей оценки производительности ИС, использующих современные веб-технологии; разработки архитектурно-программных моделей, обеспечивающих высокое качество программного обеспечения ИС, при использовании объектно-ориентированных технологий в проектах создания систем.

Степень разработанности проблемы. Теоретические и прикладные исследования в области анализа, оценки и прогнозирования качества информационных систем нашли отражение в трудах отечественных и зарубежных авторов: В-А. Ф. Алмейда, Б. Бозма, В. В. Дика, Е. Н. Ефимова, Дж. Клейнена, В. В. Липаева, Г. Майерса, Н. Г. Мальшева, А. Г. Мамиконова, Д. А. Менаске, А. И. Мишенни, Т. Нейлора, С. А. Орлова, А. Н. Пискунова, Г. С. Поспелова, Е. Саати, Е. Д. Стрельцовой, Ю. Ф. Тельнова, Е. Н. Тищенко, М. Фаулера, Г. Н. Хубаева, А. Д. Цвиркуна, Г. А. Черноморова.

² Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ / Г. Буч ; пер. с англ. — М. : Изд-во «Бином» ; СПб. : Невский диалект, 2001.

Теории нечетких множеств посвящены работы Н. А. Аверкина, А. В. Алексеева, Р. А. Алиева, Л. С. Берштейна, Е. П. Бакулина, А. Н. Борисова, Л. А. Демидовой, Л. Заде, В. П. Карелина, Д. И. Коренькова, С. Я. Коровина, А. В. Леоненкова, Н. Г. Малышева, А. Н. Мелихова, А. О. Недосекина, А. И. Орлова, В. Я. Пивкина, Д. А. Поспелова, А. П. Рыжова, А. Н. Целых, С. Д. Штовба.

Проблемы управления проектами и риски, связанные с проектами, анализируются в работах Ф. П. мл. Брукса, А. М. Вендорова, В. А. Долятовского, М. Кантора, Р. Уокера, В. Д. Шапиро, Д. Ф. Шафера.

Разработке основ объектно-ориентированного анализа и проектирования посвящены работы У. Боггса, М. Боггса, Г. Буча, Дж. Влссидеса, И. Грэхема, Э. Гамма, Р. Джонсона, Л. А. Мацяпека, Р. Дж. Мюллера, С. А. Орлова, А. Попова, Дж. Рамбо, Д. Розенберга, В. Ю. Романова, К. Скотта, Дж. Р. Трота, М. Фаулера, Р. Хелма, А. Шаллоуея, А. Якобсона.

Однако разработанные к настоящему моменту теоретические и методологические положения не отражают в полной мере проблемы оценки потребительского качества информационных веб-систем, архитектуры проектируемых систем, не учитывают влияния быстроменяющихся требований бизнеса, отсутствует единый методологический подход интегральной оценки потребительского качества ИС, показатели оценки качества объектно-ориентированных программных продуктов не учитывают специфику разработки прикладных систем на базе имеющихся программных платформ, модели оценки рисков на различных этапах проектирования объектно-ориентированных информационных систем слабо формализованы.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью диссертационного исследования является развитие теории, методологии, методов, моделей и инструментальных средств оценки потребительского качества и рисков проектов информационных систем, использующих веб-технологии, для поддержки принятия решений при проектировании и эксплуатации ИС.

Основными задачами исследований, проведенных в соответствии с поставленной целью, являются:

- 1) разработка моделей интегральной оценки потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии;
- 2) разработка методологии нечеткого и лингвистического моделирования потребительского качества информационных веб-систем;
- 3) разработка моделей анализа рисков потребительского качества в проектах создания и внедрения информационных систем;
- 4) разработка моделей анализа производительности информационных систем, использующих веб-технологии;
- 5) разработка архитектурных моделей, шаблонов и программного инструментария для обеспечения высокого потребительского качества ИС.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются распределенные информационные системы предприятий и организаций различных отраслей и организационно-правовых форм собственности.

Предметом исследования являются модели и методы оценки характеристик потребительского качества информационных веб-систем, а также модели оценки рисков проектов ИС при объектно-ориентированном подходе к анализу и проектированию таких систем.

Теоретическая и методологическая основа исследования. Теоретическую основу исследования составили труды отечественных и зарубежных ученых по теории экономических информационных систем, оценке качества программных систем, проектированию и моделированию объектно-ориентированных ИС, управлению программными проектами, теории вероятностей и математической статистике, теории нечетких множеств.

Диссертационное исследование также базировалось на современных работах, посвященных анализу и проектированию информационных систем, материалах конференций, статьях в сборниках научных трудов и в периодической печати, информационных материалах, опубликованных в Интернете.

В работе обобщены результаты исследований за период 1980–2007 гг. в области разработки, анализа и прогнозирования параметров информационных систем.

Работа проведена в рамках пункта 2.6 Паспорта специальности 08.00.13 — Математические и инструментальные методы экономики «Развитие теоретических основ, методологии и инструментария проектирования, разработки и сопровождения информационных систем субъектов экономической деятельности: методы формализованного представления предметной области, программные средства, базы данных, корпоративные хранилища данных, базы знаний, коммуникационные технологии».

Эмпирическая база исследования. Эмпирической базой исследования явились экспериментальные и статистические данные, собранные в процессе разработки и эксплуатации корпоративных информационных систем ряда организаций. Основные выдвигаемые научные положения и рекомендации экспериментально подтверждены. Поставленные эксперименты с корпоративными ИС и их компонентами составляют основу предлагаемой методологии исследования качества объектно-ориентированных информационных систем.

Научная новизна диссертационной работы. Научная новизна диссертационного исследования состоит в развитии теории, методологии и инструментария анализа потребительского качества информационных систем. Конкретные элементы научной новизны состоят в следующем.

1. Выполнено теоретическое обоснование целесообразности применения нечетких моделей для оценки потребительского качества корпоративных информационных систем, построенных с применением веб-технологий. В отличие от известных подходов применение нечетких моделей позволяет проводить

интегральный учет как количественных, так и качественных факторов, учет системных неопределенностей исходных параметров.

2. Разработана методология нечеткого и лингвистического моделирования потребительского качества информационных систем, включающая:

- метод интегральной оценки потребительского качества ИС, отличающийся ориентацией на применение графа с вершинами, состояние которых описывают лингвистические переменные, и позволяющий повысить эффективность принятия решений в процессе проектирования и применения информационных веб-систем;
- метод выбора сервис-ориентированной архитектуры информационной веб-системы на основе нечетких и лингвистических моделей, отличающийся постановкой и решением задачи о назначениях в рамках методологии нечетких множеств и позволяющий для предметной области сформировать набор информационных сервисов, потребительское качество которых соответствует требованиям к уровням обслуживания бизнес-процессов;
- метод выбора структуры корпоративных приложений информационной веб-системы на основе нечетких и лингвистических моделей, отличающийся постановкой и решением задачи на базе нечетких множеств и позволяющий производить обоснованный выбор системы из набора промышленно поставляемых информационных систем, учитывая их функциональность и уровень потребительского качества для бизнес-процессов предметной области;
- метод оценки количественных характеристик потребительского качества ИС на базе нечеткой модели, отличающийся возможностью формализации технических характеристик ИС в рамках нечетких и лингвистических моделей и позволяющий для количественной переменной формировать лингвистическое представление в естественно-языковых категориях, которыми пользуются ИТ-менеджеры, заказчики и конечные пользователи ИС.

3. Обоснована целесообразность использования нечетких производственных сетей для анализа риска потребительского качества в проектах создания и развития ИС. В отличие от известных предложенный подход позволяет получать лингвистические оценки рисков на различных этапах проектирования ИС, осуществлять анализ рисков, назначение им приоритетов.

4. Разработана нечеткая производственная сетевая модель оценки рисков проектов информационных систем, отличающаяся ориентацией на применение методологии нечеткого вывода и позволяющая ИТ-менеджерам проводить оперативный анализ риска потребительского качества на различных этапах при проектировании ИС, оперируя естественно-языковыми категориями «высокий риск», «допустимый риск», «низкий риск».

5. Разработаны модели анализа производительности информационных систем, использующих веб-технологии, включая:

– модель рабочей нагрузки информационной системы, отличающуюся использованием методов нечеткой кластеризации и позволяющую существенно снизить размерность входных потоков запросов на выполнение транзакций системы в условиях неопределенности, сгруппировав входную нагрузку в ограниченное число нечетких кластеров;

– концептуальные³ модели анализа производительности информационных систем, отличающиеся от известных учетом аппаратно-программных компонент корпоративных информационных систем, использующих веб-технологии, и позволяющие конструировать аналитические и имитационные модели для исследования показателей производительности на системном и компонентном уровнях абстрагирования.

6. Предложены архитектурно-программные модели, отличающиеся конкретизацией для платформы Microsoft.Net и позволяющие ИТ-менеджерам принимать обоснованные решения в процессе объектно-ориентированного проектирования ИС с целью улучшения потребительского качества ИС, использующих веб-технологии.

7. Разработаны инструментальные средства оценки потребительского качества и анализа рисков проектов ИС, отличающиеся программной реализацией нечетких моделей и нечетких сетей и позволяющие разработчикам и ИТ-менеджерам обеспечивать поддержку принятия решений при проектировании и эксплуатации информационных систем, использующих веб-технологии.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Методология нечеткого и лингвистического моделирования потребительского качества информационных систем.
2. Метод интегральной оценки потребительского качества ИС.
3. Метод выбора сервис-ориентированной архитектуры информационной веб-системы на основе нечетких и лингвистических моделей.
4. Метод выбора структуры корпоративных приложений информационной веб-системы на основе нечетких и лингвистических моделей.
5. Нечеткая модель оценки количественных характеристик потребительского качества ИС.

³ «Концептуальная модель — принципиальная основа экономико-математической модели, предназначенной для реализации различными математическими и техническими средствами и, следовательно, для непосредственного решения задачи. Это предварительное, приближенное представление о рассматриваемом объекте или процессе; часто К. м. имеет вид схемы, в которой фиксируются наиболее существенные параметры и связи между ними» [см.: Экономико-математический словарь [Электронный ресурс] / Л. И. Лопатников. — 2001–2008. — Режим доступа : <http://slovari.yandex.ru/dict/lopatnikov/article/lop/lop-0626.htm>.

6. Нечеткая продукционная сетевая модель оценки рисков проектов информационных систем.
7. Модели для анализа производительности и рабочей нагрузки информационных систем, использующих веб-технологии.
8. Архитектурно-программные модели реализации ИС для платформы Microsoft.Net

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в развитии теории экономических информационных систем в части оценки потребительского качества систем, использующих Web-технологии, на основе применения положений теории нечетких множеств и нечеткого вывода.

Практическая значимость исследования определяется тем, что на основе обобщения известных теоретических и научных результатов автором развиты научные и методологические основы решения важных проблем оценки потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии на этапах разработки и модернизации, анализа рисков потребительского качества в проектах создания и внедрения ИС. Предложенные автором методы, модели и программный инструментарий позволяют проектным и консалтинговым организациям повысить потребительское качество создаваемых информационных систем, использующих веб-технологии, сократить временные и финансовые затраты на проекты ИС.

Теоретические и методологические основы исследования могут выступать в качестве научно-методического базиса в учебном процессе для дисциплин «Теоретические основы экономических информационных систем», «Проектирование информационных систем», «Информационный менеджмент» и «Управление информационными системами».

Апробация и внедрение результатов исследования. Основные результаты и выводы диссертационной работы обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе на VII и VIII международных научно-практических конференциях «Экономико-организационные проблемы проектирования и применения информационных систем» (г. Ростов-на-Дону, 2003 г.; г. Кисловодск, 2005 г.), V и VI международных научно-практических конференциях «Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах» (г. Новочеркасск, 2002, 2004, 2005, 2006 гг.), международной научно-практической конференции «Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем» (г. Новочеркасск, 2003, 2004, 2006 гг.), III научно-практической конференции «Совершенствование методов управления социально-экономическими процессами и их правовое регулирование» (г. Ставрополь, 2002 г.), I региональной научно-практической конференции «Экономика Северо-Кавказского региона на пути к устойчивому развитию в рыночных условиях» (г. Краснодар, 2003 г.), III Международной научно-практической конференции «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике» (г. Новочеркасск, 2003 г.).

Основные положения и концепции диссертационного исследования использованы в проектах создания и модернизации информационных систем ряда предприятий, таких как ООО «Южная Софтверная Кампания», группа компаний «ГЭНДАЛЬФ», ООО «СКБ «ГРАФ».

Результаты диссертационного исследования использованы при проектировании инструментальных средств, которые зарегистрированы в РОСПАТЕНТЕ: программный комплекс «ЭМИР», предназначенный для автоматизации деятельности по ведению реестра эмитентом; информационная система внутреннего учета операций и сделок профессионального участника рынка ценных бумаг (ИС-ВнУ); информационная веб-система депозитарного учета профессионального участника рынка ценных бумаг (Web-ДепУ); информационная система учета абитуриентов, успеваемости и контингента высшего образовательного учреждения (АБУКОН); электронная библиотека образовательного учреждения (ЭлБи).

Публикации. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 37 печатных работах общим объемом 23,1 п. л. (лично автора 22,2 п. л.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа включает 293 страницы основного текста, содержит 17 таблиц, 47 рисунков, 3 приложения. Библиографический список содержит 310 литературных источников.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность проблемы, формулируется цель и задачи исследования, определяется предмет и объект исследования, рассматриваются теоретические и методологические основы исследования, научная новизна, практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, оценка внедрения и апробации исследования, публикации, структура диссертационной работы.

В первой главе диссертационного исследования «Теоретико-методологические подходы к обеспечению потребительского качества веб-ориентированных информационных систем» рассматриваются модели принятия решений при проектировании и модернизации ИС, состояние и проблемы оценки их потребительского качества и обосновывается целесообразность использования нечетких моделей для анализа потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии.

Эффективность проектов ИС зависит от того, насколько она соответствует текущим и стратегическим целям предприятия. Уровни обслуживания информационных сервисов определяются требованиями эффективной реализации бизнес-процессов и характеризуют потребительское качество ИС.

Для современных корпоративных ИС использование веб-технологий является обязательным требованием. Характеристики таких систем имеют ряд отличии-

тельных особенностей, которые не являются критичными для других распределенных клиент-серверных систем. Такими характеристиками являются: готовность, управляемость, производительность, надежность, масштабируемость, безопасность приложения и данных, размер объектов, получаемых браузером от веб-сервера, и количество пользователей.

При анализе производительности ИС, использующей веб-технологии, необходимо учитывать архитектуру системы, программное и техническое обеспечение сервера, контент сайта, характеристики приложений, пропускную способность сети.

Инфраструктура корпоративной информационной системы, построенной на базе веб-технологии, характеризуется рядом параметров:

$$\begin{aligned} WS &= \{WS_1, \dots, WS_i, \dots, WS_n\}, i = \overline{1, n}; \\ AS &= \{AS_1, \dots, AS_j, \dots, AS_m\}, j = \overline{1, m}; \\ DBS &= \{DBS_1, \dots, DBS_l, \dots, DBS_k\}, l = \overline{1, k}; \\ N &= \{N_1, \dots, N_q, \dots, N_v\}, q = \overline{1, v}; \\ (w_{i1}, \dots, w_{it}, \dots, w_{iT}), i &= \overline{1, n}; t = \overline{1, T}; \\ (b_{j1}, \dots, b_{jr}, \dots, b_{jR}), j &= \overline{1, m}; r = \overline{1, R}; \\ (d_{l1}, \dots, d_{ly}, \dots, d_{lY}), l &= \overline{1, k}; y = \overline{1, Y}; \\ (p_{q1}, \dots, p_{qh}, \dots, p_{qH}), q &= \overline{1, v}; h = \overline{1, H}; \\ (a_{z1}, \dots, a_{zf}, \dots, a_{zF}), z &= \overline{1, c}; f = \overline{1, F}; \\ \Lambda &= \|\lambda_{zi}\|, \Psi_z = \|\psi_{ij}^z\|, \Gamma_z = \|\gamma_{jl}^z\|, \end{aligned}$$

где WS — множество веб-серверов; AS — множество серверов приложений; DBS — множество серверов баз данных; N — множество сегментов линий связи в инфраструктуре системы; A — множество корпоративных приложений ИС; $(w_{i1}, \dots, w_{it}, \dots, w_{iT})$ — параметры i -го Web-сервера; $(b_{j1}, \dots, b_{jr}, \dots, b_{jR})$ — параметры j -го сервера приложений; $(d_{l1}, \dots, d_{ly}, \dots, d_{lY})$ — параметры l -го сервера баз данных; $(p_{q1}, \dots, p_{qh}, \dots, p_{qH})$ — параметры q -го сегмента сети связи; $(a_{z1}, \dots, a_{zf}, \dots, a_{zF})$ — параметры z -го корпоративного приложения; Λ — матрица, характеризующая потребность z -го приложения в ресурсах i -го веб-сервера; Ψ_z — матрица, характеризующая обмен информацией при реализации z -го приложения между i -м веб-сервером и j -м сервером приложений; Γ_z — матрица, характеризующая обмен информацией при реализации z -го приложения между j -м сервером приложений и l -м сервером баз данных.

Критериями оптимизации информационной веб-системы при решении задач принятия решений о выборе наиболее эффективной альтернативы в процессе проектирования и модернизации системы могут быть: экономические (совокупная стоимость владения — TCO , чистый приведенный эффект — NPV , внутренняя

норма прибыли — IRR , коэффициент возврата инвестиций — ROI); технические (производительность системы, надежность, готовность, масштабируемость); потребительского качества (функциональная полнота, удобство обслуживания, качество документации, наличие опыта разработки и эксплуатации определенных систем, соответствие корпоративным правилам, нормам и стандартам).

В большинстве случаев задача проектирования и модернизации ИС определяется целями проекта, которые влияют на постановку задачи, множество допустимых альтернатив A , множество критериев K , множество шкал оценки критериев, способы отображения множества допустимых решений в множество предпочтений эксперта и решающие правила.

Критерий принятия решений по проекту представляет собой вектор

$$K = \{K_1, \dots, K_\varphi, \dots, K_\Phi\}, \varphi = \overline{1, \Phi},$$

и, соответственно, задача проектирования и модернизации корпоративной ИС является многокритериальной.

В общем случае задачу выбора эффективной ИС можно представить в следующем виде:

$$\langle WS, AS, DBS, N, A, \Lambda, \Psi_z, \Gamma_z \rangle \xrightarrow{F \rightarrow opt} \langle K \rangle,$$

где F — оператор, обеспечивающий оптимум значений критериев эффективности.

Методы решения поставленной задачи зависят от степени структурированности проблем, описываемых моделями.

Следует отметить, что в процессе выбора эффективного варианта корпоративной ИС необходимо учитывать различные показатели, которые могут быть как количественными, так и качественными. Результаты оценок количественных характеристик ИС, как правило, имеют неопределенность, связанную со случайным характером процессов, происходящих в системе, и с ограниченностью статистических последовательностей экспериментальных данных, достоверность и однородность которых вызывает сомнения в большинстве случаев. Качественные характеристики ИС определяются экспертами, степень уверенности которых в задании конкретных оценок может быть различной.

Для менеджера программного проекта и лица, принимающего решение по направлениям использования и развития информационных технологий в бизнесе, критерий эффективности ИС должен учитывать как количественные, так и качественные характеристики. При принятии стратегических решений целесообразно использовать лингвистический подход к оценке эффективности ИС. При таком подходе характеристики, определяющие эффективность ИС, целесообразно рассматривать с точки зрения теории нечетких множеств как лингвистические переменные. Лингвистический подход позволяет при оценке характеристик ИС использовать как количественные характеристики, которым объективно свойственна неопределенность, так и качественные, субъективные оценки экспертов, выраженные нечеткими понятиями.

Для слабоструктурированных задач в условиях существенной неопределенности, что характерно для проектов создания и внедрения ИС, теория нечетких множеств предоставляет собой достаточно эффективный методологический под-

ход к построению систем поддержки принятия решений при многокритериальном выборе альтернатив. При этом, с одной стороны, экспертные оценки альтернативных вариантов по критериям достаточно хорошо представляются нечеткими множествами и числами, а с другой стороны, количественные оценки различных характеристик ИС, которые получены на основе ограниченных объемов выборки статистических данных, также могут быть представлены нечеткими переменными и нечеткими числами.

Потребительское качество характеризует насколько хорошо ИС соответствует требованиям бизнеса. Информационные системы относятся к классу сложных систем, и при формировании методологических подходов к оценке качества ИС необходимо учитывать различные аспекты: качество инфраструктуры системы, программного и аппаратного обеспечения, качество данных и информации, качество административного управления и сервиса. Кроме того, восприятие и интерпретация понятия «качество» зависят от точки зрения, с которой оно рассматривается. Для конечного пользователя, заказчика, менеджера и разработчика содержание понятия «качество информационной системы» может иметь различный смысл.

Существующие методики анализа качества ИС не дают полного количественного описания уровня качества, кроме того, они не учитывают семантики предметной области, операционного и инструментального окружения, а также методологии разработки.

Анализ существующих подходов и методологий обеспечения потребительского качества ИС показывает, что для различных фаз жизненного цикла ИС необходимо использовать модели, построенные с точки зрения основных заинтересованных лиц для каждой фазы, с учетом технологических особенностей реализаций. Известные нам подходы к оценке потребительского качества ИС не в полной мере учитывают вышесказанное, что определяет целесообразность развития методологии оценки качества информационных систем, использующих веб-технологии, на каждой фазе её жизненного цикла.

Широко известный и применяемый на практике подход исследования функциональной полноты⁴ при анализе потребительского качества ИС достаточно эффективен, однако он не учитывает, насколько полезна та или иная функция программного средства для бизнеса конкретного предприятия. В то же время в процессе проектирования и адаптации ИС к изменяющимся требованиям бизнеса необходимо принимать решения о выборе или модификации программно-аппаратного обеспечения системы, которое обеспечивает наиболее эффективное ведение бизнеса.

Потребительское качество ИС зависит от достаточно большого количества характеристик и параметров программно-аппаратной системы, которые могут быть как количественными, так и качественными. Обобщенная оценка потреби-

⁴ Хубаев, Г. Н. Сравнение сложных программных систем по критерию функциональной полноты // Программные продукты и системы (Software & System). — 1998. — № 2. — С. 6-9.

тельского качества ИС представляет собой сложную технико-экономическую задачу, которой свойственна неопределенность.

Существующие подходы к обоснованию выбора альтернатив в процессе принятия решений по выбору характеристик ИС разделяются на три группы: детерминированные, в условиях риска и в условиях неопределенности. По имеющимся у нас сведениям, при выборе эффективных альтернатив ИС использовались в основном первые два подхода, т. е. детерминированный и в условиях риска, а подходу в условиях неопределенности не уделялось должное внимание.

Процессам функционирования информационных систем, использующих веб-технологии, свойственна физическая и лингвистическая неопределенность. Физическая неопределенность проявляется в виде неточности определения её характеристик и параметров, а также случайного характера многих процессов, протекающих в информационной системе. Лингвистическая неопределенность при проектировании ИС возникает при оценке экспертами качественных характеристик системы.

Целесообразность использования нечетких моделей при анализе потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии, определяется следующим:

- в настоящее время итерационные объектно-ориентированные подходы к созданию ИС предполагают постоянное уточнение требования к системе в процессе анализа, проектирования, разработки и развертывания систем. Это обуславливает неопределенность требований к системе, использование количественных и лингвистических оценок, а также нечетких критериев, которые первоначально формулируются и постоянно уточняются в процессе создания системы. Следовательно, процесс проектирования ИС вполне естественно описывать нечеткими моделями;

- модели для оценки потребительского качества ИС предполагают учет как количественных параметров, полученных в результате различных измерений, так и качественных, предлагаемых экспертами. Применение единой методологии оценки потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии, на базе теории нечетких множеств позволяет описывать как количественные, так и качественные параметры модели, а также использовать нечеткие критерии, что также важно для различных этапов создания ИС.

Для лица, принимающего решение на стратегическом уровне управления по направлениям использования и развития информационных технологий в бизнесе, потребительское качество ИС целесообразно оценивать обобщенным (интегрированным) критерием. Формирование интегрального количественного показателя потребительского качества ИС представляется достаточно сложной задачей как с точки зрения его формирования, так и с точки зрения интерпретации.

В то же время при принятии стратегических решений лингвистический подход к оценке потребительского качества ИС, когда оценка проводится терминами «низкое качество», «допустимое качество» и «высокое качество», является общезвестным и основная проблема состоит в построении модели для проведения лингвистического анализа качества ИС. При таком подходе характеристики,

определяющие потребительское качество ИС, целесообразно рассматривать с точки зрения теории нечетких множеств как лингвистические переменные. Нечеткие модели позволяют при оценке характеристик ИС использовать как количественные характеристики, которым объективно свойственна неопределенность, так и качественные, субъективные оценки экспертов, выраженные нечеткими понятиями, а также формализовать нечеткие описания с помощью нечетких чисел, множеств, лингвистических переменных и нечетких свидетельств.

Во второй главе «Методология оценки потребительского качества информационных систем на базе теории нечетких множеств» рассмотрены основные концепции теории нечетких множеств, важные для диссертационного исследования, методологические аспекты оценки потребительского качества информационных систем, использующих веб-технологии, построение нечетких моделей количественных параметров качества ИС, метод интегральной оценки потребительского качества, метод выбора эффективной структуры информационной веб-системы на основе нечетких и лингвистических моделей сервис-ориентированной архитектуры и корпоративных приложений, нечеткая и лингвистическая модели сервис-ориентированной архитектуры, нечеткая модель корпоративных приложений.

При интегральной оценке потребительского качества ИС с использованием лингвистических моделей необходимо учитывать как количественные, так и качественные показатели. Количественными показателями являются производительность, надежность, коэффициенты использования ресурсов вычислительной системы и другие. Результаты оценки таких показателей имеют неопределенность, связанную со случайными процессами, происходящими в системе, и с ограниченностью статистических последовательностей экспериментальных данных. В результате проведения активного или пассивного эксперимента проводится оценка исследуемых характеристик, для которых задаются ограничения в виде пороговых значений. Например, для времени выполнения транзакции задается допустимое время (t_{max}). При этом если время выполнения транзакции (t) меньше или равно допустимого ($t \leq t_{max}$), то считается, что качество выполнения транзакции в отношении времени её выполнения нормальное, в противном случае — недопустимо низкое. Следует отметить, что транзакция реализует определенный информационный сервис для бизнес-процесса и время её выполнения характеризует качество предоставления сервиса бизнесу со стороны ИС. Влияние времени выполнения транзакции (качества ИТ-сервиса) на эффективность бизнес-процесса, как правило, характеризуется не скачкообразной функцией, а непрерывной (убывающей или возрастающей). С учетом этого для времени выполнения транзакции более целесообразно задавать не пороговое ограничение, а интервал, на котором показатель качества бизнес-системы (качество предоставления ИТ бизнес-системе) плавно изменяется от высокого до недопустимо низкого значения.

При построении модели интегральной оценки потребительского качества ИС используемые нефункциональные количественные факторы обладают «размытостью», так как их точное значение очень часто оценить не представляется возможным из-за различных ограничений: сложности проведения корректных из-

мерений; недостаточности статистических данных для достоверного описания вероятностных характеристик и законов. В этом случае для оценки нефункциональных количественных факторов целесообразно использовать нечеткие числа и переменные. Для исследуемого параметра его потребительское качество с точки зрения пользователя бизнес-системы может быть описано как нечеткая переменная, функция принадлежности которой имеет следующий вид:

$$\mu_{TP}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq t \leq t_{min}; \\ \frac{t_{mid} - t}{t_{mid} - t_{min}} & \text{при } t_{min} < t < t_{mid}; \\ 0 & \text{при } t \geq t_{mid} \end{cases}$$

В такой интерпретации, если время выполнения транзакции t меньше или равно t_{min} ($t \leq t_{min}$), тогда имеется полная уверенность ($\mu(t) = 1$) в высоком потребительском качестве параметра (время выполнения транзакции) ИС в отношении ИТ-сервиса, предоставляемого для бизнес-системы. Если время выполнения транзакции находится в диапазоне от t_{min} до t_{max} ($t_{min} < t < t_{max}$), то потребительское качество параметра изменяется от высокого до недопустимо низкого ($1 > \mu(t) > 0$). При времени выполнения транзакции больше или равно t_{max} ($t \geq t_{max}$) потребительское качество параметра недопустимо низкое ($\mu(t) = 0$) в отношении ИТ-сервиса бизнес-системы. Такой подход позволяет задавать диапазон, в котором изменение значения параметра плавно влияет на потребительское качество ИС в реализации ИТ-сервиса для бизнес-системы и изменяется от высокого до низкого.

Предположим, что необходимо качественно оценить влияние времени отклика транзакции на потребительское качество информационной системы с точки зрения бизнес-процесса. В процессе оценки эксперты используют лингвистическую интерпретацию в виде триарной шкалы «В-Д-Н», где уровень В (высокое качество) соответствует малому времени отклика; уровень Д (среднее качество) соответствует допустимому времени отклика; уровень Н (низкое качество) соответствует недопустимо большому времени отклика.

Лингвистическая переменная «*Качество выполнения транзакции*» с термножеством значений «(В,Д,Н)» имеет три соответствующих функций принадлежности трапециевидного и треугольного вида.

Для интегральной оценки потребительского качества ИС в диссертационной работе предложено использовать качественные шкалы и отношения предпочтения между факторами в структуре иерархии этих факторов. Принципы формирования иерархии факторов, определяющих потребительское качество ИС, и отношения порядка между ними должны определяться требованиями бизнеса. Потребительское качество ИС (*CQIS* — *Consumer Quality of the Information System*) описывается следующей нечеткой моделью:

$$CQIS = \langle G, L, P, A \rangle,$$

где G — граф дерева с вершинами F_j ($j = 0, \dots, N_D$), каждой из которых поставлено в соответствие некоторое множество лингвистических значений $x'_j \in L_j$, характеризующих состояние фактора, определяющего конкретный показатель качества ИС; $L = \{L_j, (j = 0, \dots, N_D)\}$ — набор лингвистических значений (качественных оценок) уровней каждого фактора; P — система отношений предпочтения одних факторов другим для одного уровня иерархии факторов; A — набор операторов агрегирования информации, который определен для неконцевых вершин графа и позволяет на основе оценок состояния подчиненных вершин вычислять её состояние.

При использовании пятиуровневого классификатора (пентарной шкалы) на носителе нечеткого множества S_A лингвистической переменной с использованием отрезка вещественной оси $[0,1]$ (01-классификатор) для факторов набор L_j может состоять из следующих компонентов:

{Очень Низкий уровень (ОН), Низкий уровень (Н), Средний уровень (С), Высокий уровень (В), Очень Высокий уровень (ОВ)}.

Для решения поставленной задачи систему отношений предпочтения одних факторов другим для одного уровня иерархии модели представим в следующем виде: $P = \{F_i(\varphi) F_j \mid \varphi \in (\succ, \approx)\}$, где \succ — отношение строгого предпочтения, \approx — отношение безразличия или индифферентности. Отношение предпочтения вводится на основе информации, полученной от экспертов для факторов одного уровня иерархии F_i и F_j ; четкое отношение нестрогого предпочтения, отношение строгого предпочтения R_S и отношение безразличия. Если имеющаяся у эксперта информация о форме отношения предпочтения недостаточна, то между факторами одного уровня иерархии F_i и F_j существует отношение безразличия.

Для лингвистической оценки потребительского качества ИС предложено для каждой неконцевой вершины графа сформировать оператор агрегирования информации, который на основе оценок состояния подчиненных вершин позволит вычислить её состояние. Выбор оператора агрегирования во многом определяется свойствами предметной области ИС и производится на основе доступной информации от экспертов и анализа функционирования системы. В диссертации для агрегирования используются ОWA-оператор Ягера и коэффициенты Фишберна в качестве весовых коэффициентов в свертке. Коэффициенты Фишберна можно вы-

числить по следующей формуле: $p_i = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^N r_j}$, где $i = 1, \overline{N}$, N — количество подчи-

ненных вершин, участвующих в операции агрегирования информации;

$$r_{i+1} = \begin{cases} r_i, & \text{если } F_{i+1} \approx F_i; \\ r_i + 1, & \text{если } F_{i+1} \succ F_i. \end{cases} \quad i_N = 1, i = \overline{N-2}.$$

Если по каждому показателю ($F_{k1} \dots F_{kN}$) на выбранном подуровне (k) графа G модели известны лингвистические оценки $L = (L_{k1} \dots L_{kN})$ и определены весовые коэффициенты $p_k = (p_{k1}, \dots, p_{kN})$, тогда оператор агрегирования информации подуровня k представляет собой взвешенную сумму и характеризуется своей

лингвистической оценкой, определяемой функцией принадлежности на 01-классификаторе $\mu_k(x) = \sum_{i=1}^N \mu_{k_i}(x)p_i$.

Функцию принадлежности $\mu_k(x)$ необходимо интерпретировать для получения оценки о лингвистическом уровне показателя F_k . Если для оценки уровня фактора F_k используется пятиуровневый нечеткий 01-классификатор, то на основании минимума расстояния ρ_k между нечетким множеством, заданным функцией принадлежности $\mu_k(x)$, и каждым из нечетких множеств, соответствующих функциям принадлежности $\mu_i(x)$ $i = \overline{1,5}$, необходимо определить минимальную близость $\mu_k(x)$ к $\mu_i(x)$ $i = \overline{1,5}$. Для оценки близости между двумя нечеткими множествами A и B нами предложено использовать абсолютное расстояние Хемминга.

С учетом того что показатель F_k задается функцией принадлежности $\mu_k(x)$, которая имеет трапецеидальный тип $(a_L^k, a_1^k, a_2^k, a_R^k)$, а также функции принадлежности пятиуровневого нечеткого классификатора $\mu_i(x)$ $i = \overline{1,5}$ на 01-носителе также трапецеидальные $(b_L^i, b_1^i, b_2^i, b_R^i)$, то расстояние между нечеткими множествами представим как

$$\rho_{ki} = \max\{|a_L^k - b_L^i|, |a_1^k - b_1^i|, |a_2^k - b_2^i|, |a_R^k - b_R^i|\}, \quad i = \overline{1,5}.$$

Минимальное значение ρ_{ki} определит принадлежность показателя F_k к одному из пяти лингвистических уровней пентарной шкалы на 01-классификаторе. Процедура агрегирования факторов для графа G должна проводиться для каждой неконцевой вершины снизу вверх вплоть до получения лингвистического значения показателя потребительского качества ИС — F_0 .

Основным назначением информационных технологий и систем предприятий и организаций является предоставление информационных сервисов для обслуживания бизнес-процессов. В качестве ИТ-сервисов может рассматриваться функциональность ERP-систем (прикладные программы), а так же веб-сервисы.

При использовании промышленно поставляемых прикладных программ ERP-систем для конкретных бизнес-процессов имеется неопределенность в уровне потребительского качества сервисов. В сервис-ориентированной архитектуре ИС (*service-oriented architecture* – *SOA*) ИТ-сервисы представляют собой группы программных компонентов, отвечающих за выполнение определенных бизнес-процессов. Информационные сервисы в *SOA*, в отличие от приложений ERP-систем, слабо связаны между собой, имеют четко определенные, независимые от конкретной платформы интерфейсы.

При проектировании ИС с использованием концепции *SOA* при выборе веб-сервиса используется реестр сервисов, который должен содержать исчерпывающую информацию о функциональности и интерфейсах ИТ-сервиса. Понятия «лучший» и «выгодный» ИТ-сервис применительно к веб-сервисам являются весьма размытыми, не всегда очевидными.

В нечеткой модели сервис-ориентированной архитектуры предметная область описывается множеством бизнес-процессов: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$, где

$x_i, i = \overline{1, n}$ — бизнес-процессы. Для разработчика ИС доступно множество информационных сервисов: $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$, где $y_j, j = \overline{1, m}$ — ИТ-сервисы, предназначенные для обслуживания бизнес-процессов.

Нами предложено формализовать в виде нечеткого множества B возможность предоставления x_i -му бизнес-процессу y_j -го ИТ-сервиса с заданным уровнем обслуживания. Нечеткое множество B определяется на декартовом произведении множеств X и Y , т.е. $X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}$. Если множество принадлежности определено на интервале $[0, 1]$, то нечеткое множество B определяется следующим образом: $\forall (x, y) \in X \times Y$ задана функция принадлежности $\mu_B(x, y) \in [0, 1]$. Интерпретацией функции принадлежности $\mu_B(x, y_j)$ является субъективная мера того, насколько потребительское качество ИТ-сервиса y_j соответствует требованиям об уровне обслуживания для бизнес-процесса x_i . В данном случае нечеткое множество B представляет собой нечеткое бинарное отношение, определенное на множестве $X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}$.

Нечеткая модель ИТ-сервисов на базе нечеткого множества B аналитически задается в следующем виде: $B = \{\langle \mu_B(x, y) / (x, y) \rangle\}$, где $x \in X, y \in Y$.

Задача проектирования или модернизации ИС сводится к выбору для бизнес-процесса x_i наиболее эффективного информационного сервиса y_j .

При назначении бизнес-процессу x_i ИТ-сервиса y_j необходимо учитывать ограничения на потребительское качества последнего, которое определяется допустимыми уровнями обслуживания. Такое ограничение сформируем в виде подмножества Δ -уровня нечеткого множества B . Подмножество Δ -уровня B_Δ нечеткого множества B определим следующим образом:

$$B_\Delta = \{x_i \in X, y_j \in Y, : \forall j (\mu(x_i, y_j) > \delta_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m})\}.$$

Уровни $\delta_i, i = \overline{1, n}$ задают минимальное значение уверенности, что для бизнес-процесса x_i требования к потребительскому качеству в части уровней обслуживания информационным сервисом выполняются.

В качестве критерия эффективного назначения каждому бизнес-процессу $x_i, i = \overline{1, n}$ информационного сервиса $y_j, j = \overline{1, m}$ при условии, когда перед командой разработчиков ставится задача выбора наиболее эффективных ИТ-сервисов из имеющихся или доступных, будем использовать проекцию B_X^{\max} бинарного нечеткого отношения B_Δ , которая имеет следующую функцию принадлежности — $\mu_{B_X^{\max}}(x) = \sup_Y \mu_{B_\Delta}(x, y)$.

Если перед командой разработчиков ставится задача выбора ИТ-сервисов, минимально достаточных для обеспечения согласованных уровней обслуживания бизнес-процессов для проектируемой информационной системы, то будем использовать проекцию B_X^{\min} модифицированного B^M бинарного нечеткого отно-

шения B_{Δ} , которая имеет следующую функцию принадлежности — $\mu_{B_{\Delta}^{\min}}(x) = \inf_Y \mu_{B^M}(x, y)$.

Таким образом, задача выбора эффективной сервис-ориентированной архитектуры информационной системы сводится к задаче о назначении для каждого бизнес-процесса x_i наиболее эффективного информационного сервиса y_j из числа доступных разработчику $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$. Следует отметить, что нами предложена модификация постановки задачи о назначениях для случая нечеткой информации, то есть с использованием нечетких множеств.

В диссертационной работе приводится метод выбора эффективной сервис-ориентированной архитектуры на базе нечеткой модели.

Лингвистическая модель сервис-ориентированной архитектуры имеет определенные преимущества по сравнению с нечеткой моделью. Она, на наш взгляд, упрощает задачу эксперта при оценке потребительского качества реализации x_i -го бизнес-процесса y_j -м информационным сервисом, т.к. эксперт оперирует такими понятиями, как «высокое качество», «среднее качество», «низкое качество» и т. п. Кроме того, лингвистическая оценка качества реализации бизнес-процесса более понятна всем заинтересованным в проекте информационной системы лицам (конечным пользователям, заказчикам проекта, команде разработчиков, менеджерам).

Определим лингвистическую переменную «Потребительское качество информационного сервиса». В качестве терм-множества её значений T будем использовать следующие термы: очень низкое качество ($ОН$); низкое качество ($Н$); среднее качество ($С$); высокое качество ($В$); очень высокое качество ($ОВ$).

С учетом введенных обозначений терм-множество можно представить следующим образом: $T = \{ОН, Н, С, В, ОВ\}$. Следует отметить, что терм $ОН$ может использоваться в том случае, если i -й бизнес-процесс не может быть реализован j -м информационным сервисом. Областью определения термов терм-множества T является декартово произведение множеств X и Y , т.е. $X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}$, где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ — множество бизнес-процессов; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ — множество информационных сервисов. Если x_i -й бизнес-процесс не может поддерживаться y_j -м информационным сервисом, лингвистическая переменная принимает значение $ОН$, в противном случае значение лингвистической переменной может быть задано экспертами любым из множеств $\{Н, С, В, ОВ\}$.

При анализе возможности реализации x_i -го бизнес-процесса y_j -м информационным сервисом эксперты должны задать значение лингвистической переменной «Потребительское качество информационного сервиса» из определенного терм-множества $T = \{ОН, Н, С, В, ОВ\}$. Для согласования мнения экспертов может быть применена дельфийская процедура. Результаты экспертизы можно представить в виде таблицы (табл. 1).

В таблице 1 обозначение t_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ соответствует терм-значению лингвистической переменной «Потребительское качество информационного сервиса» для соответствующей комбинаций x_i и y_j .

Допустимый вариант обслуживания x_i -го бизнес-процесса y_j -м информационным сервисом определяется ограничениями на значения лингвистической переменной.

Таблица 1. Результаты формирования значений лингвистической переменной

	y_1	y_2	...	y_i	...	y_m
x_1	t_{11}	t_{12}	...	t_{1i}	...	t_{1m}
x_2	t_{21}	t_{22}	...	t_{2i}	...	t_{2m}
			
x_i	t_{i1}	t_{i2}	...	t_{ii}	...	t_{im}
			
x_n	t_{n1}	t_{n2}	...	t_{ni}	...	t_{nm}

Если для x_i -го бизнес-процесса требуется обеспечить не менее чем средний показатель качества обслуживания информационным сервисом, то условия выбора соответствующих информационных сервисов можно представить следующим образом: $Y_i^{\text{доп}} \rightarrow t_{ij} \in \{C, B, OB\}$, т. е. множество допустимых информационных сервисов $Y_i^{\text{доп}}$ для бизнес-процесса x_i должны характеризоваться значениями лингвистической переменной «Потребительское качество информационного сервиса» (t_{ij}), соответствующими подмножеству $\{C, B, OB\}$.

Выбор наиболее эффективного информационного сервиса для конкретного бизнес-процесса проводится на основе лингвистического критерия $K: \langle K, T(K), U_K, G_K, M_K \rangle$, где K — имя лингвистического критерия; $T(K)$ — терм-множество критерия $T(K) = \{H, C, B, OB\}$; U_K — область определения термов терм-множества $T(K) - X \times Y$; G_K — синтаксическое правило, позволяющее оперировать элементами терм-множества $T(K)$; M_K — семантическая процедура, позволяющая приписать смысл нечеткому критерию.

При проектировании корпоративных ИС обслуживание бизнес-процессов предметной области реализуется информационными сервисами, которые представляют собой различные модули промышленно поставляемых информационных систем. Это характерно для процессов создания корпоративных информационных систем на базе таких ERP-систем, как SAP/R3, Oracle Application, Baan, Microsoft Dynamics AX, БОСС-Корпорация, Галактика, Парус, БЭСТ-ПРО, 1С: Предприятие 8.0 и других. В этом случае перед командой разработчиков корпоративной ИС стоит задача не только выбрать наиболее эффективный информационный сервис (функциональность) для бизнес-процесса, но и реализовать такой выбор в рамках определенной ERP-системы. При этом неопределенность возникает при оценке как потребительского качества обслуживания бизнес-процесса различными информационными сервисами, так и потребительского качества реализации информационного сервиса в рамках конкретной ERP-системы.

При построении нечеткой модели корпоративных приложений предметная область описывается множеством бизнес-процессов $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1, n}$. Для разработчика ИС доступна функциональность промышленно поставляемых ERP-систем, которая формализуется в виде множества программных приложений систем (информационных сервисов) $Y = \{y_j\}$, $j = \overline{1, m}$. В качестве информационных сервисов рассматриваются приложения промышленно поставляемых ERP-систем, обеспечивающих заданную функциональность.

Нечеткое множество B задается аналогично предыдущей задаче на декартовом произведении множеств X и Y , т. е. $X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}$. При проектировании ИС анализируется множество промышленно поставляемых ERP-систем: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k, \dots, z_s\}$, где z_k , $k = \overline{1, s}$ — промышленно поставляемые ERP-системы, которые обладают определенной функциональностью.

Нами предложено формализовать в виде нечеткого множества D возможность реализации y_j -й функциональности z_k -й ИС. Нечеткое множество D определяется на декартовом произведении множеств Y и Z , т. е. $Y \times Z = \{(y, z) : y \in Y, z \in Z\}$. Для всех элементов $(\forall (y, z) \in Y \times Z)$ нечеткого множества D определена функция принадлежности $\mu_D(y, z) \in [0, 1]$. Функция принадлежности $\mu_D(y, z)$ нечеткого множества D интерпретируется как уверенность эксперта в уровне соответствия потребительского качества реализации y_j -й функциональности (информационного сервиса) z_k -й информационной системой.

Конечной целью проектирования ИС является наиболее эффективный выбор промышленно-поставляемой ERP-системы для обслуживания бизнес-процессов предприятия. Это обуславливает построение отображения множества бизнес-процессов $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1, n}$ на множество ERP-систем $Z = \{z_k\}$, $k = \overline{1, s}$. Для реализации такого отображения построим нечеткое множество F , которое представляет собой композицию двух нечетких бинарных отношений B и D , т. е. $F = B \otimes D$. Нечеткое множество F определено на декартовом произведении множеств X и Z , т. е. $X \times Z = \{(x, z) : x \in X, z \in Z\}$ и имеет функцию принадлежности $\mu_F(x, z)$, которая определяется следующим образом:

$$\mu_F(x_i, z_k) = \max_{y_j \in Y} \left\{ \min \{ \mu_B(x_i, y_j), \mu_D(y_j, z_k) \} \right\},$$

где $x_i \in X$, $i = \overline{1, n}$; $y_j \in Y$, $j = \overline{1, m}$; $z_k \in Z$, $k = \overline{1, s}$.

Функция принадлежности $\mu_F(x, z)$ описывает уверенность в том, что уровень потребительского качества функциональности ERP-системы соответствует требованиям об уровнях обслуживания для бизнес-процессов предметной области. Таким образом, нечеткое множество F , являющееся композицией нечетких отношений B и D , является формальной основой для эффективного выбора промышленно поставляемой ERP-системы для ИС предприятия.

В качестве условий выбора сформируем следующие требования:

1) альтернативная ERP -система z_k^A должна иметь возможность предоставить информационное обслуживание для всех бизнес-процессов предприятия, т. е. $\forall i (\mu_F(x_i, z_k^A) > 0)$;

2) для альтернативных ERP -систем z_k^A должны выполняться требования по согласованным уровням обслуживания, т. е. $\forall i (\mu_F(x_i, z_k^A) > \delta_i)$, где уровни δ_i , $i = \overline{1, n}$ задают минимальное значение уверенности, что для бизнес-процесса x_i требования к потребительскому качеству в части уровней обслуживания информационным сервисом выполняются.

Если после проверки ограничений имеются несколько альтернативных вариантов ERP -систем, то для окончательного выбора можно использовать критерий минимальной совокупной стоимости владения ИС.

Для иллюстрации использования нечеткой модели корпоративных приложений рассмотрим задачу выбора ИС для системы внутреннего учета инвестиционной компании. Предположим, что при проектировании ИС рассматривается возможность использования трех промышленно поставляемых ИС внутреннего учета инвестиционных компаний, т. е. $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$, где z_1 — информационная система АСКИНА; z_2 — информационная система АМЕТИЗ; z_3 — информационная система BackOffice.

На основе анализа экспертной информации сформировано нечеткое отношение D и построена матрица $F = B \otimes D$:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{ccc} 0.7 & 0 & 0.9 \\ 0.8 & 1 & 0.7 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 1 \\ 0.8 & 0.9 & 0 \end{array} \right\| \end{matrix}, \quad F = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{ccc} 0.9 & 1 & 0.7 \\ 0.8 & 0.9 & 0.6 \\ 0.8 & 0.6 & 0.9 \end{array} \right\| \end{matrix}.$$

Графическое представление нечеткого множества F приведено на рисунке 1.

Анализ матрицы F показывает, что все рассматриваемые альтернативные варианты информационных систем могут обеспечить функциональность для решения задач внутреннего учета инвестиционной компании, однако если в соответствии с требуемыми уровнями обслуживания необходимо обеспечить высокую уверенность в том, что потребительское качество информационных сервисов будет соответствовать требованиям, то необходимо для нечеткого множества F выделить Δ -подмножество $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0.8$.

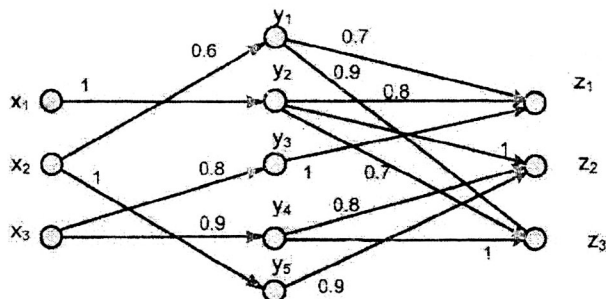


Рис. 1. Нечеткий граф

В результате получим следующее Δ -подмножество:

$$F_{\Delta} = \begin{array}{c|ccc} & z_1 & z_2 & z_3 \\ \hline x_1 & 0,9 & 1 & 0 \\ x_2 & 0,8 & 0,9 & 0 \\ x_3 & 0,8 & 0 & 0,9 \end{array}.$$

Подмножество F_{Δ} определяет целесообразность эффективного применения информационной системы z_1 , т. е. системы АСКИНА.

Разработанная методология анализа потребительского качества ИС на базе нечетких моделей позволяет проводить интегральный анализ потребительского качества ИС, совместно используя количественные и качественные показатели, формировать эффективный набор информационных сервисов из множества доступных разработчику, осуществлять выбор эффективной ИС на основе заданных уровней обслуживания бизнес-процессов предметной области и модулей, входящих в состав промышленно поставляемых ИС.

В третьей главе «Методология анализа рисков потребительского качества информационных систем с использованием нечетких сетей» проанализированы аспекты неопределенности и рисков потребительского качества в проектах создания ИС, обоснована целесообразность использования нечетких моделей при анализе рисков и разработана модель рисков потребительского качества в проектах ИС на базе нечетких продукционных сетей.

Проект создания и внедрения ИС реализуется в условиях существенной неопределенности, которая проявляется в виде неполноты или неточности информации об условиях реализации системы.

Неопределенность, сопутствующая процессу проектирования ИС, может привести к возникновению неблагоприятных ситуаций, которые будут препятствовать достижению поставленных целей в процессе проектирования ИС. Возможность проявления неблагоприятных ситуаций в проекте создания ИС характеризуется риском.

Процесс управления рисками предполагает их идентификацию, количественную и качественную оценку, разработку откликов на риски и их контроль. При проектировании ИС целесообразно выделить следующие группы рисков: риск планирования (превышение сроков разработки проекта системы и его внедрения); риск стоимости (превышение бюджета проекта создания ИС); риск потребительского качества (разработка информационной системы, не отвечающей требованиям заинтересованных сторон).

Современные подходы к проектированию ИС основываются на объектно-ориентированных технологиях, базирующихся на итерационном подходе. Риски оцениваются для каждой итерации и фазы проектирования системы. Итерационный подход, в отличие от водопадного, обеспечивает идентификацию, оценку и снижение рисков в ходе итераций на ранних фазах ЖЦ информационной системы, что обеспечивает снижение риска по проекту в целом.

Определенные риски потребительского качества характерны для проекта создания ИС в целом, но на каждой фазе ЖЦ информационной системы они могут иметь различные приоритеты. К таким рискам относятся: объем проекта; сложность проекта; объем бюджета; стабильность требований; стабильность документов; доступность инструментальных средств; новые технологии; организационная стабильность заказчика; стабильность команды разработчиков; поддержка менеджмента; вовлечение заказчика в проект; опыт заказчика. В то же время каждой фазе жизненного цикла ИС сопутствует определенная группа рисков, которая является наиболее актуальной и поэтому подлежит постоянному контролю и управлению.

Создание эффективной системы управления рисками потребительского качества в проектах ИС предполагает распространение её сферы влияния на все фазы и все итерации жизненного цикла ИС. Анализ возникающих рисков должен проводиться регулярно в процессе создания ИС. Риски должны идентифицироваться, оцениваться, и на основе оценки должны выявляться приоритеты рисков для текущей итерации процесса создания системы.

Существующие методики идентификации риска в основном базируются на использовании контрольных списков и анализе принимаемых решений. Для этого используются данные по ранее разработанным проектам и привлекаются к работе опытные разработчики.

Недостатками существующих методик идентификации рисков проектов ИС являются сложность работы с контрольными списками, которые могут включать несколько сотен позиций, и необходимость привлечения ресурса опытных разработчиков (экспертов предметной области).

Оценка влияния риска на проект для конкретной фазы жизненного цикла ИС и конкретной итерации проекта может быть количественной и качественной. Количественные оценки базируются на имеющейся статистической информации и используемых моделях прогноза. При этом задача состоит в количественной оценке риска относительно других имеющихся рисков, и в прогнозе влияния конкретного риска на проект ИС. Следует заметить, что использование количественных методов во многих случаях бывает проблематичным из-за от-

сутствия достаточных статистических данных для построения адекватных моделей анализа. Качественная оценка риска, как правило, базируется на экспертных оценках.

Недостатком существующих подходов к анализу рисков является отсутствие единой методологической основы, позволяющей интегрировать как качественные, так и количественные подходы к оценке рисков.

Для повышения эффективности управления рисками проектов создания и развития ИС нами разработан подход к оценке рисков потребительского качества в проектах ИС, базирующихся на современных методах обработки информации в условиях существенной неопределенности, позволяющих осуществлять анализ и принимать эффективные решения на базе моделей, интегрирующих как количественные, так и качественные факторы.

Для моделирования рисков потребительского качества в проектах ИС в диссертационной работе нечеткие модели представлены в виде нечетких сетей, элементы и совокупности элементов которых реализуют различные компоненты нечетких моделей и этапы нечеткого вывода.

Нечеткая продукционная модель (НПМ) представлена следующим образом:

$$(i): Q; P; A \Rightarrow B : S; F; N,$$

где (i) — обозначение правила нечеткой продукции; Q — сфера применения нечеткой продукции, которая характеризует предметную область нечеткой модели; P — условие применения (активизации) ядра нечеткой продукции; $A \Rightarrow B$ — ядро нечеткой продукции; A — условие ядра (антецедент); B — заключение ядра (консеквент); \Rightarrow — знак логической секвенции (следования); S — метод или способ определения количественного значения степени истинности заключения ядра, который определяет алгоритм нечеткого вывода в продукционной нечеткой модели; F — коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции, который определен на интервале $[0, 1]$ и соответствует весовому коэффициенту нечеткого продукционного правила; N — постусловие продукционного правила, которое определяет действия и процедуры, выполняемые в случае реализации ядра продукции.

Ядро нечеткой продукции $A \Rightarrow B$ представляется в виде:

ЕСЛИ x есть A , **ТО** y есть B ,

где x — входная переменная, $x \in X$; X — область определения антецедента нечеткого правила; A — нечеткое множество, определенное на X ; $\mu_A(x) \in [0, 1]$ — функция принадлежности нечетного множества A ; y — выходная переменная, $y \in Y$; Y — область определения консеквента нечеткого правила; B — нечеткое множество, определенное на Y ; $\mu_B(y) \in [0, 1]$ — функция принадлежности нечетного множества B .

Для нечеткого множества B функция принадлежности определяется по правилу композиции как $\mu_B(y) = \sup_{x \in X} \{T(\mu_A(x), \mu_R(x, y))\}$, где \sup — операция определения верхней границы множества элементов; T — операция T -нормы.

Прямой вывод основывается на правиле вывода «нечеткий модус поненс» (*fuzzy modus ponens*). В диссертационной работе для реализации нечеткого вывода использовано правило вывода «нечеткий модус поненс» и результат нечеткого вывода определяется посредством применения операции композиции.

Для моделирования рисков проектов ИС в качестве композиционного правила нечеткого логического вывода использована *max-min*-композиция, т.к. она обладает свойствами ассоциативности и дистрибутивности относительно операции *max*, что является важным для задач моделирования.

При построении нечеткой модели рисков потребительского качества в проектах ИС в качестве входных переменных используются как количественные, так и качественные факторы. Интегральный учет как количественных, так и качественных факторов возможен при использовании лингвистических переменных. Для этого в продукционных моделях нечеткого вывода применяют нечеткие лингвистические высказывания.

При построении нечеткой модели оценки рисков проектов ИС необходимо сформировать полное пространство предпосылок $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1, n}$ факторов, являющихся источниками риска и полное пространство заключений $Y = \{y_j\}$, $j = \overline{1, m}$ показателей риска различных областей проекта.

Для формирования правила оценки риска потребительского качества ИС, связанного с достижением цели проекта ИТ, в качестве входной лингвистической переменной (x_1) используется лингвистическая переменная «цель проекта», которая имеет следующее терм-множество:

$$T1 = \{\text{«недостаточно»}, \text{«ограничено»}, \text{«полностью»}\}.$$

Терм «недостаточно» (Н) соответствует ситуации, когда цель проекта ИС недостаточно соответствует целям организации. Терм «ограничено» (О) соответствует ситуации, когда цель проекта ИС соответствует целям организации с определенными ограничениями. Терм «полностью» (П) соответствует ситуации, когда цель проекта ИС полностью соответствует целям организации.

Другой лингвистической переменной (x_2) являются «границы проекта» с терм-множеством:

$$T2 = \{\text{«минимальная»}, \text{«нормальная»}, \text{«избыточная»}\}.$$

Терм «минимальная» (М) соответствует ситуации, когда границы проекта ИС определяют минимальную функциональность для бизнес-системы. Терм «нормальная» (Н) соответствует ситуации, когда границы проекта ИС соответствует требуемой функциональности бизнес-системы. Терм «избыточная» (И) соответствует ситуации, когда границы проекта ИС имеют избыточную или неточно определенную функциональность.

Выходной переменной (y) является лингвистическая переменная «риск соответствия цели проекта», которая имеет следующее терм-множество

$$T3 = \{\text{Низкая очевидность риска (НОР)}, \text{Средняя очевидность риска (СОР)}, \text{Высокая очевидность риска (ВОР)}\}.$$

Для модели оценки риска потребительского качества проекта ИС в части риска соответствия целям проекта сформированы следующие правила вывода:

- П1: **ЕСЛИ** *цель проекта недостаточно соответствует целям организации И границы проекта определяют минимальную функциональность*
ТО *высокая очевидность риска соответствия цели проекта*
- П2: **ЕСЛИ** *цель проекта соответствует целям организации с ограничениями И границы проекта определяют минимальную функциональность для бизнес-системы*
ТО *средняя очевидность риска соответствия цели проекта*
- П3: **ЕСЛИ** *цель проекта соответствует целям организации полностью И границы проекта определяют нормальную ИЛИ избыточную функциональность для бизнес-системы*
ТО *низкая очевидность риска соответствия цели проекта*

В процессе анализа факторов риска потребительского качества в проектах ИС с привлечением экспертов — ведущих специалистов консалтинговых организаций были выявлены показатели, которые могут быть факторами и показателями риска проектов ИС. В таблице 2 приведены первые две лингвистические переменные, характеризующие факторы риска, из 29 представленных в диссертации.

При задании лингвистических переменных, характеризующих факторы риска, могут использоваться следующие терм-множества, определяющие уровни факторов: $T_2 = \{\text{Низкий (H), Высокий (B)}\}$; $T_3 = \{\text{Низкий (H), Средний (C), Высокий (B)}\}$; $T_4 = \{\text{Очень Низкий (ОН), Низкий (H), Средний (C), Высокий (B)}\}$; $T_5 = \{\text{Недоступно Низкий (НН), Низкий (H), Средний (C), Высокий (B), Сверхвысокий (СВ)}\}$.

Таблица 2. Факторы риска проектов ИС

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Вид терм-множества и интерпретация уровней факторов
x_1	Цель проекта	T_3 . H — недостаточно соответствует целям организации; C — соответствует целям с определенными ограничениями; B — полностью соответствует.
x_2	Границы проекта	T_3 . H — определяют минимальную функциональность; C — соответствует требуемой функциональности; B — имеют избыточную или неточно определенную функциональность.

В таблице 3 приведены первые две лингвистические переменные, характеризующие показатели риска, из 17 представленных в диссертации.

При задании лингвистических переменных, характеризующих показатели риска, используется следующее терм-множество, определяющее показатели риска: $T_1 = \{\text{Низкая очевидность риска (НОР), Средняя очевидность риска (СОР), Высокая очевидность риска (ВОР)}\}$.

Таблица 3. Показатели риска проектов ИС

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Примечание
y_1	Соответствие цели проекта	Риск проявляется в том случае, если цели проекта ИС не полностью соответствуют целям или задачам организации
y_2	Организационная стабильность	Риск проявляется в зависимости от размера организационных изменений, необходимых для реализации проекта ИС

В нечеткой модели оценки рисков проектов ИС в качестве функций принадлежности вполне допустимо использовать типовые L - R -функции треугольного и трапецидального типов, определенные на 01-носителе, конкретный вид которых определяется значениями параметров их аналитического представления и может уточняться в соответствии с экспериментальными данными.

В результате анализа предметной области и обработки экспертной информации сформирована база правил. В таблице 4 приведены первые две базы правил из 17 представленных в диссертации.

Таблица 4. Нечеткие продукционные правила модели риска проектов ИС

Обозначение правила	Антецедент	Консеквент
База правил П1		
П1.1	$x_1 = H \wedge (x_2 = B \vee x_2 = C)$	$y_1 = \text{Очень ВОР}$
П1.2	$x_1 = H \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{ВОР}$
П1.3	$x_1 = C \wedge x_2 = B \vee x_2 = C$	$y_1 = \text{Очень СОР}$
П1.4	$x_1 = C \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{СОР}$
П1.5	$x_1 = B \wedge x_2 = B \vee x_2 = C$	$y_1 = \text{НОР}$
П1.6	$x_1 = B \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{Очень НОР}$
База правил П2		
П2.1	$(x_4 = \text{ОН} \vee x_4 = H) \wedge (x_3 = B \vee x_3 = \text{ОВ})$	$y_2 = \text{Очень НОР}$
П2.2	$(x_4 = \text{ОН} \vee x_4 = H) \wedge (x_3 = C)$	$y_2 = \text{НОР}$
П2.3	$x_4 = C \wedge (x_3 = B)$	$y_2 = \text{СОР}$
П2.4	$x_4 = B \wedge (x_3 = C)$	$y_2 = \text{ВОР}$
П2.4	$(x_4 = B \vee x_4 = C) \wedge (x_3 = B \vee x_3 = \text{ОВ})$	$y_2 = \text{Очень ВОР}$

При реализации процесса нечеткого моделирования базы правил П1 с использованием специализированного пакета *Fuzzy Logic Toolbox* средства *MATLAB* получена поверхность системы нечеткой модели, приведенная на рисунке 2.

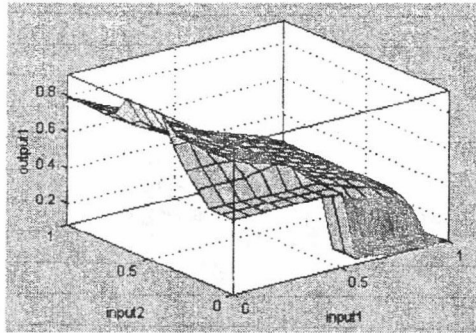


Рис. 2. Поверхность системы нечеткой модели для базы правил П1

При значении классификатора $input1 = 0.1$ значение лингвистической переменной x_1 «Цель проекта» соответствует терму H «недостаточно соответствует целям организации», с уровнем уверенности $\mu_{x_1}^H = 0.8\mu$ и при значении $input2 = 0.6$ значение лингвистической переменной x_2 «Границы проекта» соответствует терму C «соответствует требуемой функциональности», с уровнем уверенности $\mu_{x_2}^C = 1.0$ система формирует вывод.

По заданным исходным условиям активизируются правила 2 и 5. Результирующее значение классификатора выходной переменной $output1$ соответствует значению 0,74, что определяет значение лингвистической переменной риска проекта y_1 «Соответствие цели проекта» равное BOP «Высокая очевидность риска» с уровнем уверенности $\mu_{y_1}^{BOP} = 0.92$. Реализация правил нечеткого вывода приведена на рисунке 3.

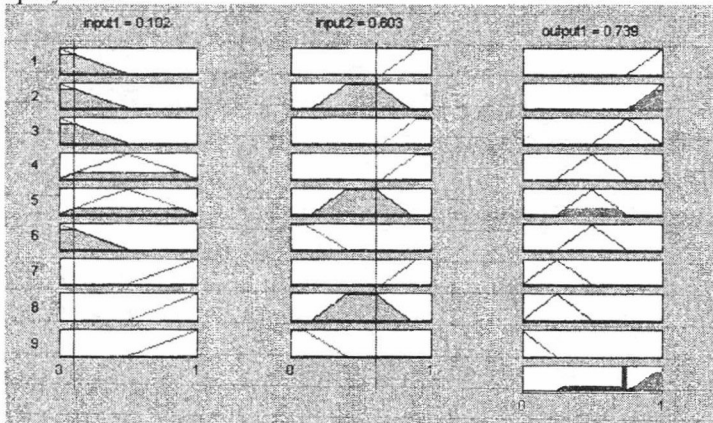


Рис. 3. Реализация правил нечеткого вывода

Разработанная модель оценки рисков проектов ИС в виде нечеткой продукционной сети позволяет проводить качественный анализ рисков проектов, которые несут потенциальные угрозы процессу разработки ИС, а также выявить приоритеты рисков (очень высокий, высокий, средний, низкий, несущественный), которые важны для менеджмента проектов.

В четвертой главе «Модели информационных систем при оценке потребительского качества их функционирования» проведен концептуальный анализ аспектов производительности ИС, обоснована методология построения модели рабочей нагрузки ИС на базе положений нечеткой кластеризации, разработаны модели производительности ИС, рассмотрены аспекты планирование активного эксперимента с ИС.

Комплексный подход к стратегическому планированию и управлению информационной инфраструктурой предприятия требует выявления основных направлений анализа и прогнозирования процессов соответствия требований бизнеса, которые задаются как уровни качества обслуживания бизнес-процессов информационной инфраструктурой, и характеристик ИС. Результаты анализа позволяют проводить оценку и адаптацию характеристик ИС с целью обеспечения заданной эффективности бизнеса предприятия.

Одной из основополагающих характеристик потребительского качества функционирования ИС является производительность, которая характеризует уровень функционирования системы с точки зрения требований бизнеса по своевременности предоставления информационных услуг.

В проектах создания и модернизации ИС начиная с этапов формулировки требований и анализа принимаются решения, которые непосредственно влияют на производительность системы. К таким решениям относятся: количество архитектурных уровней; тип сервера ИС; тип и характеристики сервера баз данных; тип сетевой технологии; пропускную способность глобальной сети.

Особенно остро вопрос оценки производительности ИС, а следовательно, и вопрос обеспечения потребительского качества, которое формализуется в виде заданных уровней обслуживания информационных сервисов, встает на ранних стадиях проектирования, когда невозможно провести измерение параметров производительности на действующих образцах (прототипах) системы. В такой ситуации вопросы оценки потребительского качества ИС в части обеспечения требуемой производительности могут быть решены с помощью математических и имитационных моделей производительности.

Современные корпоративные ИС широко используют веб-технологии, корпоративные порталы, которые представляют единые, интегрированные точки доступа к корпоративным приложениям. Данная тенденция определяет изменения в подходе к обеспечению производительности ИС. Если в традиционных корпоративных *ERP*-системах круг потенциальных конечных пользователей был ограничен размерами компании, то для веб-систем число внешних конечных пользователей ИС может значительно превосходить число пользователей в организации, и поэтому вопросы масштабирования ИС, а следовательно, и производительности

также приобретают большое значение. Модели производительности информационных веб-систем и методы планирования имитационных экспериментов должны обеспечивать выявление процессов «насыщения» кривой производительности, т. е. определения максимального количества запросов, которое способна обработать система.

При анализе производительности ИС, использующей веб-технологии, необходимо учитывать рабочую нагрузку системы, её архитектуру, программное и техническое обеспечение сервера, контент сайта, характеристики приложений и пропускную способность сети.

Рабочая нагрузка ИС характеризуется большим количеством параметров. Модель нагрузки должна отражать её существенные характеристики и быть приемлемой с точки зрения сложности описания для использования в аналитических или имитационных моделях.

С учетом того что реальная рабочая нагрузка ИС определяется выполнением большого количества функций, встает задача классификации и параметризации нагрузки системы. Для классификации рабочей нагрузки ИС предложено использовать методы кластерного анализа. Характеристики рабочей нагрузки ИС являются размытыми по своей природе. В диссертационной работе предложено модель рабочей нагрузки ИС формировать с использованием методов нечеткой кластеризации. Процесс построения рабочей нагрузки состоит в следующем.

В результате эксперимента (пассивного или активного) получено n измерений значений рабочей нагрузки A информационной системы, которые называются множеством объектов кластеризации: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, где a_i ($i = \overline{1, n}$) — объект рабочей нагрузки, полученный в i -м измерении; A — множество элементов рабочей нагрузки, $a_i \in A$.

Рабочая нагрузка информационной системы характеризуется конечным множеством признаков: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_q\}$, где p_j ($j = \overline{1, q}$) — j -й признак (атрибут) объекта рабочей нагрузки; P — множество признаков объекта рабочей нагрузки, $p_j \in P$.

Для каждого объекта рабочей нагрузки a_i ($i = \overline{1, n}$) в результате эксперимента получен набор параметров (свойств) $X = \{X_i\}$: $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$, где x_{ij} — количественное значение признака $p_j \in P$ для объекта $a_i \in A$. Векторы значений X_i принято представлять в виде матрицы данных $D = [x_{ij}]$.

Требуется на основе исходных данных определить такое нечеткое разбиение $R(C) = \{C_k | C_k \subseteq C\}$ нечеткого множества $C = A$ на заданное число c нечетких кластеров C_k ($k \in \{1, \dots, c\}$, $c > 2$), которое обеспечивает экстремум нечеткой целевой функции $f(R(C))$ среди всех нечетких разбиений.

Для решения задачи нечеткой кластеризации рабочей нагрузки ИС применен алгоритм нечетких c -средних, позволяющий получить локально-оптимальное

нечеткое разбиение $R(C)$, которое характеризуется матрицей функций принадлежности $U = [\mu_{ik}]$ и характеристиками центров кластеризации $v_k = \{v_{jk}\}$.

Модель производительности ИС представлена в следующем виде:

$$\{S, SW, HW, A, C, PN\},$$

где S — характеристики инфраструктуры веб-системы; SW — характеристики программного обеспечения; HW — характеристики аппаратного обеспечения; A — характеристики приложений; C — характеристики контента веб-сайта; PN — характеристики сети связи. В диссертационной работе предложено концептуальную модель веб-системы представить в виде замкнутой сети массового обслуживания.

С учетом того что исходные данные для моделирования производительности ИС характеризуются существенной неопределенностью и не всегда имеется возможность провести для них достоверное статистическое описание, для исходных данных и результатов моделирования целесообразным является применение интервально-оценочных моделей, которые представляются нечеткими моделями.

Проведение исследования потребительского качества в проектах создания и модернизации ИС в части анализа производительности предполагает планирование и организацию активного эксперимента⁵.

Основными требованиями к свойствам моделей и к планам экспериментов являются: независимость b -коэффициентов модели; ортогональность плана эксперимента; ротатабельность планов.

В диссертационной работе на основе разработанных моделей приводится моделирование информационной системы депозитария профессионального участника рынка ценных бумаг. На рисунке 4 приведен график зависимости времени отклика от количества рабочих станций и размера базы данных.

В пятой главе «Архитектурные и программные подходы к обеспечению качества информационных систем» рассмотрены типовые архитектурные модели для ИС на платформе MICROSOFT.NET, шаблоны проектирования информационных систем, программные решения по оценке качества объектно-ориентированных программных продуктов и интегральной оценке потребительского качества ИС.

Вопросы обеспечения качества ИС должны решаться на всех этапах жизненного цикла системы. Разработка качественной ИС во многом определяется архитектурными решениями, принимаемыми в процессе её создания. Архитектура программной системы должна включать в себя данные: об организации программной системы; о структурных элементах, их интерфейсах, поведении; о стиле архитектуры, принятом в организации.

Под архитектурными решениями корпоративной ИС мы понимаем определение главных компонентов системы и способы их взаимодействия, которые интерпретируются как основополагающие.

⁵ Хубаев, Г. Н. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов с информационными системами / Г. Н. Хубаев // Вопросы статистики. — 1999. — №6. — С. 78–83.

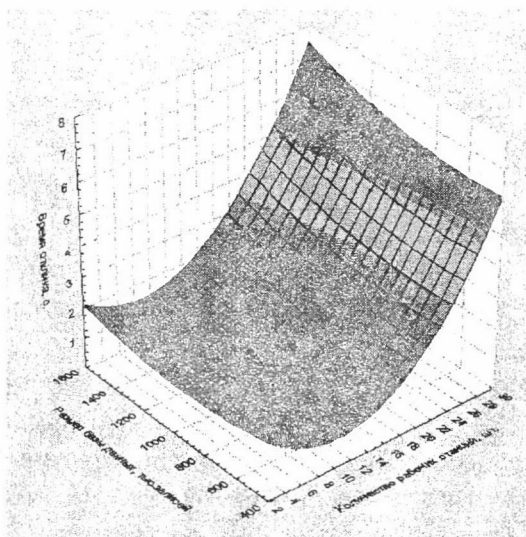


Рис. 4. График зависимости времени отклика от количества рабочих станций и размера базы данных

Решения, принимаемые при объектно-ориентированном проектировании, определяются предметной областью задачи. Однако качественные и проверенные модели, построенные на этапах анализа жизненного цикла ИС, могут использоваться как типовые архитектурные модели.

Для распределенных ИС типичным архитектурными моделями является трехуровневая структура: уровень представления; уровень бизнес-логики; уровень данных.

В диссертационной работе проанализированы и предложены усовершенствованные модели для всех трех уровней программного обеспечения ИС.

Для организации уровня бизнес-логики проанализированы типовые модели: сценарий транзакций, модель предметной области, модуль таблиц. показано, что при использовании платформы *Microsoft.NET* наиболее рационально применять модель Модуль таблиц, которая достаточно эффективно реализуется компонентами технологии *ADO.NET* и поддерживается разносторонним набором инструментальных средств *Visual Studio.NET*. На рисунке 5 приведена схема взаимодействия архитектурных уровней информационной системы для типовой модели Модуль таблиц.

Задачи повышения потребительского качества программного обеспечения ИС, сокращения времени разработки систем и бюджета проекта, роста продуктивности труда программистов определяют актуальность моделирования и разработки ИС с применением повторно используемых образцов разработки (шаблонов).

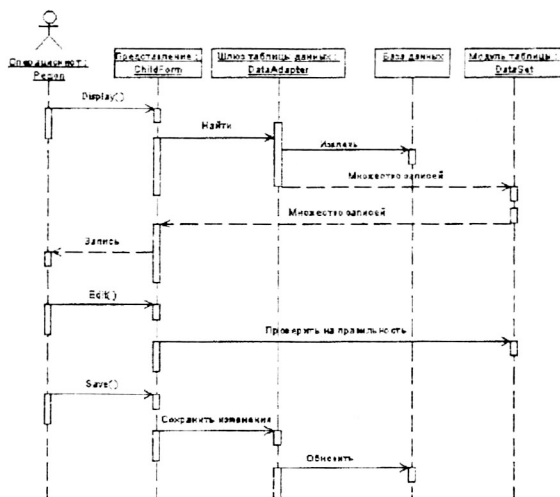


Рис. 5. Схема взаимодействия архитектурных уровней ИС, использующей Модуль таблиц

При моделировании ИС для профессиональных участников фондового рынка под руководством автора диссертационного исследования разработаны шаблоны, которые представляют собой модели на языке UML, описывающие определенный бизнес-домен, характеризующий часто встречающийся бизнес-элемент информационной системы. Такие шаблоны относятся к классу шаблонов анализа и проектирования.

Для оценки качества объектно-ориентированных (ОО) моделей ИС применяется ряд метрик. В процессе анализа известных метрик для объектно-ориентированных систем (вес методов классов — *WMC*, глубина дерева наследования *DIT*, количество потомков — *NOC*, связывание между объектами *CBO*, отклик класса *RFC*, низкое зацепление методов *LCOM*) выявлены их слабые стороны и предложены усовершенствованные варианты.

Для использования методики оценки качества объектно-ориентированных программных продуктов разработано программное средство *OPP Analiser*. На рисунке 6 показана экранная форма отчета по анализу метрик.

Для интегральной оценки потребительского качества ИС разработано программное средство *ModelingFuzzySet*. С помощью дизайнера модели можно сформировать модель системы показателей качества ИС (рис. 7).

Для каждого узла модели формируются терм-множества (рис. 8).

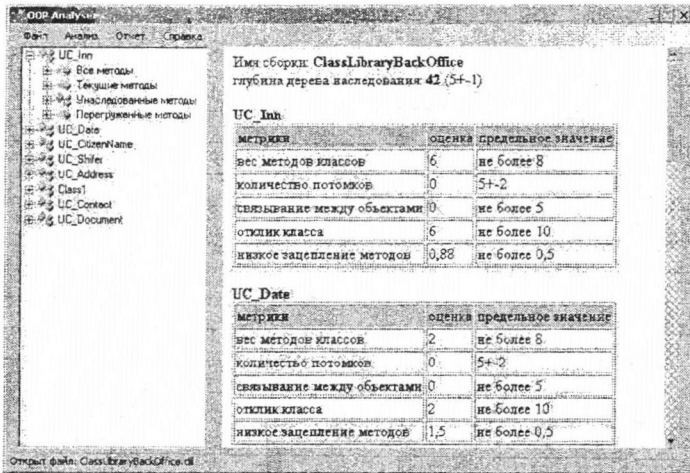


Рис. 6. Экранная форма отчета по анализу метрик классов библиотеки

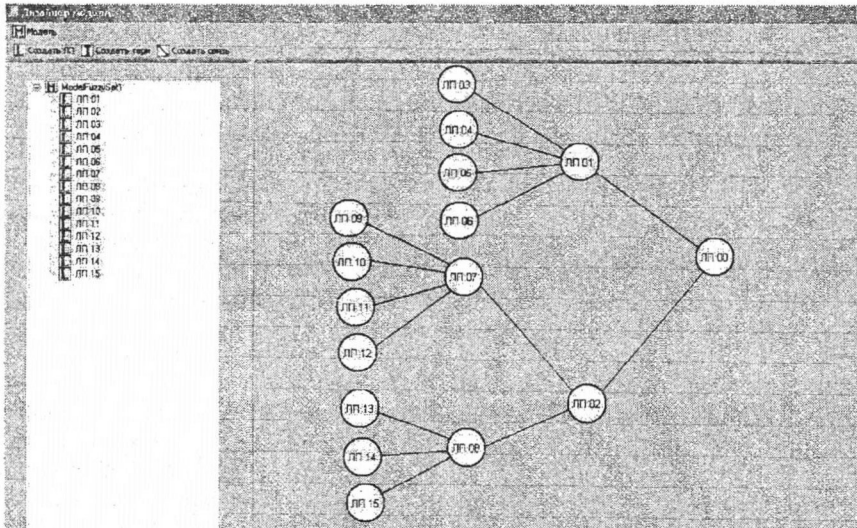


Рис. 7. Экранная форма модели системы показателей качества ИС

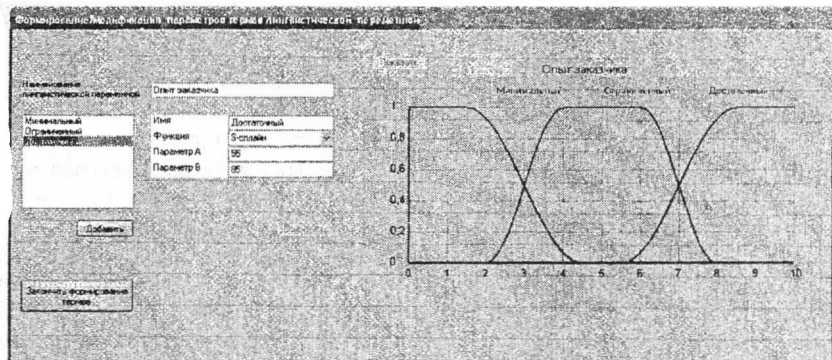


Рис. 8. Экранная форма задания лингвистических переменных

В процесс принятия решений менеджер с помощью эксперта задает исходные данные для узлов модели и получает качественную оценку потребительского качества информационной системы (рис. 9).

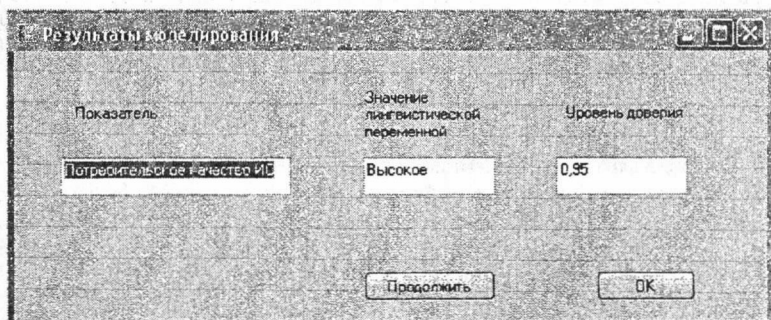


Рис. 9. Экранная форма результатов моделирования

Разработанное программное использовано рядом организаций в проектах создания и развития ИС для оценки потребительского качества и анализа рисков проектов.

В заключении сформулированы выводы, основные положения и рекомендации по результатам диссертационного исследования.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ

Монография

1. Долженко, А. И. Нечеткие модели — эффективный инструмент для анализа потребительского качества информационных систем / А. И. Долженко; Рост. гос. эконом. ун-т «РИНХ». — Ростов н/Д, 2008. — 218 с. — 7,7 п. л.

Статьи в изданиях из перечня ВАК РФ

2. Долженко, А. И. Задача выбора эффективной сервис-ориентированной архитектуры экономической информационной системы / А. И. Долженко // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2008. — Т. 6. — № 3.3 — С. 126 — 129. — 0,66 п. л.

3. Долженко, А. И. Нечеткие модели принятия решений в проектах создания информационных систем / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. — 2007. — № 2. — С. 6–9. — 0,63 п. л. (принята к печати 13.11.2006).

4. Долженко, А. И. Модель информационных сервисов на основе теории нечетких множеств / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. — 2007. — № 1. — С. 7–10. — 0,63 п. л. (принята к печати 06.09.2006).

5. Долженко, А. И. Лингвистический анализ потребительского качества информационной системы / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. — 2006. — № 4. — С. 30–34. — 0,62 п. л.

6. Долженко, А. И. Оценка нефункциональных характеристик качества информационной системы на основе теории нечетких чисел / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. Прил. — 2006. — № 8. — С. 3 — 9. — 0,63 п. л.

7. Долженко, А. И. Формирование приоритетов требований экономической информационной системы / А. И. Долженко // Научная мысль Кавказа. Прил. / Сев.-Кав. науч. центр высш. шк. — 2006. — № 2 (86). — С. 66–73. — 0,69 п. л.

8. Долженко, А. И. Типовые архитектурные решения для корпоративных информационных систем на платформе Microsoft.NET / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. — 2006. — № 3. — С. 3–7. — 0,63 п. л.

9. Долженко, А. И. Моделирование корпоративной информационной системы / А. И. Долженко // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Обществ. науки. — 2006. — № 2 (134). — С. 50–55. — 0,75 п. л.

10. Долженко, А. И. Модели принятия решений при проектировании и модернизации информационной системы / А. И. Долженко // Научная мысль Кавказа. Прил. / Сев.-Кав. науч. центр высш. шк. — 2005. — № 15 (83). — С. 137–143. — 0,56 п. л.

Статьи в центральной и межвузовской печати

11. Долженко, А. И. Программное решение модуля формирования лингвистических переменных нечеткой модели / А. И. Долженко // Информационные системы, экономика, управление трудом и производством : ученые записки / Рост. гос. эконом. ун-т «РИНХ». — Ростов н/Д, 2007. — Вып. 11. — С. 49–54. — 0,25 п. л.

12. Долженко, А. И. Методология анализа рисков при проектировании информационных систем с использованием нечетких сетей / А. И. Долженко // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». — 2007. — № 2 (24). — С. 148–155. — 0,75 п. л.

13. Долженко, А. И. Модели информационных систем на основе теории нечетких множеств / А. И. Долженко // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». — 2007. — № 1 (23). — С. 76–82. — 0,75 п. л.

14. Долженко, А. И. Нечеткие продукционные модели оценки рисков проектов информационных систем / А. И. Долженко // Проблемы федеральной и региональной экономики : ученые записки / Рост. гос. эконом. ун-т «РИНХ». — Ростов н/Д, 2007. — Вып. 10. — С. 114–119. — 0,44 п. л.

15. Долженко, А. И. Нечеткие модели анализа потребительского качества информационной системы / А. И. Долженко // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». — 2006. — № 2 (22). — С. 123–131. — 1,0 п. л.

16. Долженко, А. И. Модели рабочей нагрузки информационной системы / А. И. Долженко // Информационные системы, экономика, управление трудом и производством : ученые записки / Рост. гос. эконом. ун-т «РИНХ». — 2006. — Вып. 10. — С. 83–89. — 0,5 п. л.

17. Долженко, А. И. Оценка качества объектно-ориентированных программных продуктов / А. И. Долженко // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». — 2006. — № 1 (21). — С. 37–43. — 0,84 п. л.

18. Долженко, А. И. Объектная архитектура корпоративных информационных систем на платформе Microsoft.NET / А. И. Долженко // Проблемы экономики и организации производственных и социальных систем : межгос. сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : изд-во ЮРГТУ, 2005. — Вып. 10. — С. 54–58. — 0,28 п. л.

19. Долженко, А. И. Концептуальные модели корпоративной экономической информационной системы / А. И. Долженко // Информационные системы, экономика, управление трудом и производством : ученые записки / Рост. гос. эконом. ун-т «РИНХ». — Ростов н/Д, 2005. — Вып. 9 — С. 69–78. — 0,56 п. л.

20. Долженко, А. И. Моделирование бизнес-процессов внутреннего учета инвестиционной компании / А. И. Долженко, В. А. Долженко, В. Г. Суслев // Научные исследования в области экономики, образования и информационных технологий : межвуз. сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) ;

Ин-т открытого образования. — Новочеркасск : изд-во ЮРГТУ, 2003. — С. 163–167. — 0,35 п. л., в т. ч. авторских — 0,2 п. л.

21. Долженко, А. И. Экспертные системы как составная часть интеллектуальных САПР / А. И. Долженко // Технические средства и системы управления производственными процессами. — Братск, 1991. — С. 139–143. — 0,25 п. л.

22. Долженко, А. И. Имитационная модель центральной части вычислительного комплекса СМ-2 / А. И. Долженко, Ю. И. Лозовой // Изв. СКНЦВШ. Технические науки. — 1981. — № 3. — С. 20–24. — 0,62 п. л., в т. ч. авторских — 0,4 п. л.

23. Долженко, А. И. К вопросу анализа функционирования технического обеспечения АСОУ дискретным производством / А. И. Долженко // Изв. СКНЦВШ. Технические науки. — 1980. — № 2. — С. 31–34. — 0,5 п. л., в т. ч. авторских — 0,3 п. л.

Статьи в сборниках докладов международных, межгосударственных и всероссийских конференций

24. Долженко, А. И. Алгоритм решения задачи нечеткой кластеризации для формирования рабочей нагрузки информационной системы / А. И. Долженко // Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 25 мая 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : ООО НПО «Темп», 2007. — С. 134–138. — 0,38 п. л.

25. Долженко, А. И. Задача построения модели рабочей нагрузки информационной системы методом нечеткой кластеризации / А. И. Долженко // Моделирование. Теория, методы и средства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 6 апр. 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : ООО НПО «Темп», 2007. — С. 19–23. — 0,38 п. л.

26. Долженко, А. И. Оценка риска проектов информационных систем на базе нечетких моделей / А. И. Долженко // Проблемы экономики, организации и управления предприятиями, отраслями, комплексами в разных сферах народного хозяйства : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. г. Новочеркасск, 30 марта 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : ООО НПО «Темп», 2007. — Ч. 1. — С. 25 — 29. — 0,38 п. л.

27. Долженко, А. И. Лингвистическая оценка количественных характеристик качества информационной системы / А. И. Долженко // Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 26 мая 2006 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : изд-во ЮРГТУ, 2006. — С. 116–121. — 0,38 п. л.

28. Долженко, А. И. Использование шаблонов при объектном проектировании информационных систем / А. И. Долженко, В. А. Долженко // Экономико-организационные проблемы проектирования и применения информационных систем : материалы VII науч.-практ. конф., г. Ростов-на-Дону, 11–12 но-

яб. 2003 / Рост. гос. эконом. ун-т. — Ростов н/Д, 2005. — С. 115–119. — 0,25 п. л., в т. ч. авторских — 0,15 п. л.

29. Долженко, А. И. Архитектурные решения для информационной системы внутреннего учета инвестиционной компании / А. И. Долженко // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 15 нояб. 2005 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : ООО НПО «Темп», 2005. — Ч. 3. — С. 4–7. — 0,25 п. л.

30. Долженко, А. И. Архитектура и программная реализация корпоративной информационной системы депозитария / А. И. Долженко, В. А. Долженко // Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 16 мая 2003 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : изд-во ЮРГТУ, 2003. — Ч. 3 — С. 32–36. — 0,24 п. л., в т. ч. авторских — 0,15 п. л.

31. Долженко, А. И. Модели для анализа и проектирования информационных систем / А. И. Долженко, В. А. Долженко // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 17 янв. 2003 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск : изд-во ЮРГТУ, 2003. — Ч. 3 — С. 32–36. — 0,24 п. л., в т. ч. авторских — 0,15 п. л.

32. Долженко, А. И. Объектное моделирование информационных систем / А. И. Долженко, В. А. Долженко // Экономика Северо-Кавказского региона на пути к устойчивому развитию в рыночных условиях : сб. материалов I регион. науч.-практ. конф., г. Краснодар, 28 февр. 2003 г. — Краснодар : изд-во ИМСИТ, 2003. — С. 350–353. — 0,24 п. л., в т. ч. авторских — 0,15 п. л.

Прочие информационные материалы

33. Долженко, А. И. Информационная веб-система депозитарного учета профессионального участника рынка ценных бумаг (Web-ДепУ) / А. И. Долженко, А. М. Фролов, И. С. Кузнецова, М. Ю. Арефьев, Н. Г. Савельева. — Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006611476 ; заявка № 2006610632 от 02.03.2006 г. — М. : РОСПАТЕНТ, 2006.

34. Долженко, А. И. Электронная библиотека образовательного учреждения (ЭлБи) / А. И. Долженко, И. С. Кузнецова, М. Ю. Арефьев, Ю. В. Дашко, А. В. Трегубов. — Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ; заявка № 2006611276 от 14.04.2006. — М. : РОСПАТЕНТ, 2006.

35. Долженко, А. И. Информационная система учета абитуриентов, успеваемости и контингента высшего образовательного учреждения (АБУКОН) / А. И. Долженко, И. С. Кузнецова, М. Ю. Арефьев, Ю. В. Дашко, Е. Г. Свирь, В. А. Скороходов, А. В. Трегубов. — Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611275; заявка № 2006680424 от 15.04.2006 г. — М. : РОСПАТЕНТ, 2006.

36. Долженко, А. И. Информационная система внутреннего учета операций и сделок профессионального участника рынка ценных бумаг (ИС-ВнУ) / А. И. Долженко, А. М. Фролов, И. С. Кузнецова, М. Ю. Арфьев. — Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006611441 ; заявка № 2006680041 от 10.01.2006 г. — М. : РОСПАТЕНТ, 2006.

37. Долженко, А. И. Информационная система ведения реестра именных ценных бумаг ЭмиР / А. И. Долженко, С. В. Паршуков, В. А. Долженко // Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003611793 ; заявка № 2003611299 от 16.06.2003. — М. : РОСПАТЕНТ, 2003.

Формат 60 x 84/16. Объем 2,0 уч.-изд. л. Гарнитура «Таймс».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 150 экз.

344002, Ростов-на-Дону, Б. Садовая, 69, РГЭУ «РИНХ».

Редакционно-издательский центр.

On